丁酸梭菌对肉鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和血清生化指标的影响

贾聪慧[1,2] 杨彩梅[1*] 曾新福[3] 刘金松[3] 张 娟[2] 陈安国[2]

（1.浙江农林大学动物科技学院，临安 313000；2.浙江大学动物科学学院，杭州 310058；

3.浙江惠嘉生物科技有限公司，安吉 313307）

摘 要：本试验旨在研究丁酸梭菌（*Clostridium butyricum*）对罗斯 308 肉鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和血清生化指标的影响。将 540 羽 1 日龄健康罗斯 308 肉鸡随机分为 3 组，每组 6 个重复，每个重复 30 羽。试验分对照组，饲喂不含抗生素的基础饲粮；抗生素组，在基础饲粮中添加 10 mg/kg 硫酸粘杆菌素和 50 mg/kg 杆菌肽锌；丁酸梭菌组，在基础饲粮中添加 3×10^8 CFU/kg 丁酸梭菌。试验期 42 d。结果表明：1）与对照组相比，丁酸梭菌组和抗生素组肉鸡体重、平均日增重和平均日采食量均显著提高（P<0.05）。2）与对照组相比，丁酸梭菌组 42 日龄肉鸡血清谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）和总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性显著增强（P<0.05），其中 GSH-Px 活性比抗生素组提高 60.00%（P<0.05）；抗生素组 7 和 21 日龄肉鸡血清 T-SOD 活性比对照组显著提高（P<0.05）。3）21 日龄，丁酸梭菌组和抗生素组肉鸡血清免疫球蛋白 A（IgA）含量分别比对照组提高 28.70%（P<0.05）和 26.46%（P<0.05）。7、21 和 42 日龄，丁酸梭菌组肉鸡血清免疫球蛋白 G（IgG）含量分别比对照组提高 36.60%（P<0.05）、37.77%（P<0.05）和 27.03%（P<0.05）。7 和 42 日龄，抗生素组肉鸡血清 IgG 含量与对照组相比显著提高（P<0.05）。21 和 42 日龄，丁酸梭菌组肉鸡血清免疫球蛋白 M（IgM）含量与对照组相比显著提高（P<0.05），比抗生素组提高 7.92%（P>0.05）和 47.62%（P<0.05）。4）与对照组相比，丁酸梭菌组肉鸡血清总蛋白（TP）含量显著升高（P<0.05），且在 21 和 42 日龄时，TP 含量分别比抗生素组提高 31.33%（P<0.05）和 52.27%（P<0.05）。与对照组相比，丁酸梭菌组 21 和 42 日龄肉鸡血氨含量显著降低（P<0.05）。由此可见，饲粮中添加丁酸梭菌能够提高肉鸡血清抗氧化能力并增强机体免疫功能，促进蛋白质代谢，进而改善肉鸡的生长性能，且添加丁酸梭菌能减少肉鸡氨排放。

关键词：肉鸡；丁酸梭菌；生长性能；抗氧化能力；免疫功能；血清生化指标

收稿日期：2015–09–20

基金项目：浙江省“饲料研发与安全科技创新团队”项目（2011R50025）；浙江农林大学人才项目（2034020001）

作者简介：贾聪慧（1989–），女，山西大同人，硕士研究生，研究方向为动物营养。E-mail: conghuijia@126.com

*通信作者：杨彩梅，副教授，硕士生导师，E-mail: yangcaimei2012@163.com

中图分类号：S816.7；S831.5　　文献标识码：A　　文章编号：1006-267X(2016)00-0000-00

随着肉鸡养殖集约化程度的加快，应激对动物生产的影响越来越大。其中，氧化应激往往会引起家禽代谢消耗增加，导致肉鸡生长发育受阻以及肉品质的下降，严重时还引发各种疾病，这给养鸡业带来较大的经济损失。因此，如何通过营养调控手段改善肉鸡的生长状况，缓解氧化应激带来的负面影响已成为重要的研究课题。

丁酸梭菌（*Clostridium butyricum*）又名酪酸菌，是我国农业部于 2009 年 7 月批准的新一代微生物饲料添加剂。研究表明，丁酸梭菌具有提供营养、促进代谢、维持人和动物肠道健康等作用，尤其对治疗由肠道菌群紊乱引起的炎症、急慢性腹泻、肠易激综合征等疾病效果显著[1]。但目前关于丁酸梭菌对肉鸡抗氧化能力和免疫功能的影响的研究报道较少。因此，本试验通过在肉鸡饲粮中添加丁酸梭菌来探讨其对肉鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和血清生化指标的影响，以为丁酸梭菌在动物生产中的应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

丁酸梭菌制剂由浙江惠嘉生物技术有限公司提供，活菌数为 10^9 CFU/kg。

1.2　试验设计

本试验选用 1 日龄的健康罗斯 308 肉鸡 540 羽，平均体重为(42.59±0.13) g，随机分成 3 组，每组 6 个重复，每个重复 30 羽（公、母各占 1/2）。试验分对照组，饲喂不添加抗生素的基础饲粮，基础饲粮为参照美国 NRC（1994）肉鸡营养需要配制的粉状配合饲料，组成及营养水平见表 1；抗生素组，在基础饲粮中添加 10 mg/kg 硫酸粘杆菌素和 50 mg/kg 杆菌肽锌；丁酸梭菌组，在基础饲粮中添加 3×10^8 CFU/kg 丁酸梭菌。试验期 42 d。试鸡采用网上平养，自由采食和饮水，按鸡场常规管理程序进行管理和免疫接种。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content	
	1~21 日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	61.20	65.20
豆粕 Soybean meal	23.00	18.00
膨化大豆 Extruded soybean	8.50	10.00

进口鱼粉 Import fish meal	3.00	3.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.60	1.40
石粉 Limestone	1.10	1.00
食盐 NaCl	0.32	0.30
DL－蛋氨酸 *DL*-Met	0.18	0.10
L－赖氨酸 *L*-Lys	0.10	0.00
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.54	12.80
粗蛋白质 CP	20.70	19.00
赖氨酸 Lys	1.12	0.96
蛋氨酸 Met	0.53	0.43
钙 Ca	0.99	0.89
有效磷 AP	0.51	0.46

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet：VA 1 500 IU，VD_3 200 IU，VE 10 IU，VK 0.5 mg，VB_{12} 0.01 mg，VB_6 3.0 mg，VB_1 1.5 mg，*D*－泛酸 *D*-pantothenic acid 10 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，生物素 biotin 0.15 mg，Cu 8 mg，Fe 80 mg，Zn 40 mg，Mn 60 mg，Se 0.15 mg，I 0.18 mg。

[2)]代谢能为计算值，其余为实测值。The ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 检测指标

分别于 1、21 和 42 日龄，以重复为单位称鸡只空腹重。试验过程中记录每天的供料量和剩料量。

在 7、21 和 42 日龄，每组选取 6 只体重相近的试验鸡，颈静脉采血，分离血清，于 4 ℃下 3 000 r/min 离心 15 min，取上清液分装于 1.5 mL Eppendorf 管中，置－20 ℃低温冰箱中保存。测定血清总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）和血氨含量，总抗氧化能力（T-AOC）和丙二醛（MDA）含量，以及谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）和总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性。同时用酶联免疫吸附测定法（enzyme linked immunosorbent assay，ELISA）检测血清免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 G（IgG）和免疫球蛋白 M（IgM）含量。试剂盒购自南

京建成生物工程研究所，测定方法按照试剂盒说明书进行。

1.4 数据统计分析

统计分析数据采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），结果均表示为“平均值±标准误”，P<0.05 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 生长性能

丁酸梭菌对肉鸡生长性能的影响见表 2。与对照组相比，饲粮中添加抗生素或丁酸梭菌均能显著提高肉鸡生长各阶段的体重、平均日增重和平均日采食量（P<0.05），丁酸梭菌组和抗生素组间无显著差异（P>0.05）。与对照组相比，抗生素组 22~42 日龄肉鸡料重比显著降低（P<0.05）。由此表明，饲粮中添加丁酸梭菌能够显著提高肉鸡的生长性能。

表 2 丁酸梭菌对肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of *Clostridium butyricum* on growth performance of broilers

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups 对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	丁酸梭菌组 *Clostridium butyricum* group
体重 BW/g	1	42.58±0.64	42.76±0.75	42.43±0.57
	21	733.83±10.54^{b}	778.18±26.62^{a}	764.13±20.61^{a}
	42	2 118.21±50.12^{b}	2 235.40±22.43^{a}	2 276.65±44.78^{a}
平均日增重	1~21	32.92±0.20^{b}	35.02±0.50^{a}	34.37±0.39^{a}
ADG/g	22~42	65.92±0.97^{c}	69.39±0.86^{b}	72.03±0.61^{a}
	1~42	49.42±0.48^{b}	52.21±0.53^{a}	53.20±0.43^{a}
平均日采食量	1~21	50.53±0.42^{b}	52.92±0.54^{a}	52.17±0.51^{a}
ADFI/g	22~42	136.90±0.74^{c}	144.03±2.08^{b}	150.37±1.42^{a}
	1~42	93.55±0.30^{b}	97.64±1.37^{a}	100.44±0.97^{a}
料重比	1~21	1.54±0.01	1.51±0.01	1.53±0.01
F/G	22~42	2.10±0.02^{a}	2.04±0.01^{b}	2.07±0.03^{ab}
	1~42	1.91±0.03	1.87±0.01	1.89±0.02

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 抗氧化能力

丁酸梭菌对肉鸡血清抗氧化能力的影响见表 3。与对照组相比，饲粮中添加丁酸梭菌显著提高 42 日龄肉鸡血清 GSH-Px 和 T-SOD 活性（$P<0.05$），其中 GSH-Px 活性比抗生素组提高 60.00%（$P<0.05$）。与对照组相比，抗生素组 7 和 21 日龄肉鸡血清 T-SOD 活性显著提高（$P<0.05$）。与对照组相比，丁酸梭菌组肉鸡血清 T-AOC 和 MDA 含量无显著差异（$P>0.05$），但 T-AOC 有升高的趋势。由此表明，饲粮中添加丁酸梭菌能够提高肉鸡血清抗氧化能力。

表 3　丁酸梭菌对肉鸡血清抗氧化能力的影响

Table 3　Effects of *Clostridium butyricum* on serum antioxidant capacity of broilers

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups 对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	丁酸梭菌组 *Clostridium butyricum* group
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（μmol/L）	7	512.07±59.73[a]	279.31±15.80[b]	294.82±20.90[b]
	21	752.06±20.14	663.79±66.41	806.21±50.51
	42	775.86±31.00[b]	589.68±24.84[c]	943.45±13.53[a]
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	7	16.07±0.94[b]	24.01±2.35[a]	19.12±0.91[ab]
	21	14.68±1.11	18.96±0.95	19.82±2.79
	42	18.71±1.17	19.07±2.91	20.74±0.49
总超氧化物歧化酶 T-SOD/（U/mL）	7	113.38±2.37[b]	128.61±3.15[a]	116.57±4.53[b]
	21	174.38±5.86[b]	198.46±4.19[a]	183.08±8.70[ab]
	42	215.35±6.95[b]	235.57±5.93[ab]	263.14±13.01[a]
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	7	2.31±0.07	2.74±0.12	2.74±0.30
	21	2.56±0.07	2.55±0.12	2.53±0.09
	42	2.37±0.12[b]	2.67±0.01[a]	2.28±0.05[b]

2.3　免疫功能

丁酸梭菌对肉鸡血清免疫指标的影响见表 4。21 日龄，丁酸梭菌组和抗生素组肉鸡血清 IgA 含量分别比对照组提高 28.70%（P<0.05）和 26.46%（P<0.05）。7、21 和 42 日龄，丁酸梭菌组肉鸡血清 IgG 含量分别比对照组提高 36.60%（P<0.05）、37.77%（P<0.05）和 27.03%（P<0.05）。7 和 42 日龄，抗生素组肉鸡血清 IgG 含量与对照组相比显著提高（P<0.05）。21 和 42 日龄，丁酸梭菌肉鸡血清 IgM 含量与对照组相比显著提高（P<0.05），比抗生素组提高 7.92%（P>0.05）和 47.62%（P<0.05）。这说明丁酸梭菌有提高肉鸡血清免疫球蛋白含量的作用。

表 4　丁酸梭菌对肉鸡血清免疫指标的影响

Table 4　Effects of *Clostridium butyricum* on serum immune parameters of broilers　　mg/mL

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups		
		对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	丁酸梭菌组 *Clostridium butyricum* group
免疫球蛋白 A IgA	7	3.84±0.01[a]	3.12±0.07[b]	3.60±0.07[a]
	21	2.23±0.08[b]	2.82±0.14[a]	2.87±0.03[a]
	42	1.98±0.18[ab]	1.75±0.07[b]	2.23±0.17[a]
免疫球蛋白 G IgG	7	2.35±0.11[b]	2.96±0.09[a]	3.21±0.10[a]
	21	1.88±0.09[b]	1.94±0.02[b]	2.59±0.08[a]
	42	1.48±0.06[b]	1.92±0.11[a]	1.88±0.06[a]
免疫球蛋白 M IgM	7	1.77±0.05	1.69±0.08	1.56±0.09
	21	1.45±0.02[b]	1.59±0.11[ab]	1.70±0.01[a]
	42	1.28±0.18[b]	1.26±0.05[b]	1.86±0.05[a]

2.4　血清生化指标

丁酸梭菌对肉鸡血清生化指标的影响见表 5。与对照组相比，丁酸梭菌组肉鸡血清 TP 含量显著升高（P<0.05），且在 21 和 42 日龄时，TP 含量分别比抗生素组提高 31.33%（P<0.05）和 52.27%（P<0.05）；而抗生素组肉鸡血清 TP 含量随日龄增加呈下降趋势，42 日龄时，比对照组下降 21.09%（P<0.05）。与对照组相比，丁酸梭菌组 21 和 42 日龄肉鸡血氨含量显著

降低（$P<0.05$）。与对照组相比，丁酸梭菌对肉鸡血清 ALB 含量无显著影响（$P>0.05$），而抗生素却显著降低了 42 日龄肉鸡血清 ALB 含量（$P<0.05$）。由此得出，饲粮中添加丁酸梭菌能够显著提高肉鸡血清 TP 含量，并显著降低血氨含量。

表 5　丁酸梭菌对肉鸡血清生化指标的影响

Table 5　Effects of *Clostridium butyricum* on serum biochemical parameters of broilers

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups 对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	丁酸梭菌组 *Clostridium butyricum* group
白蛋白 ALB/(g/L)	7	15.30±0.59	15.73±0.49	16.15±0.16
	21	18.77±0.28	19.98±0.74	21.26±1.22
	42	18.76±0.48[a]	14.21±0.42[b]	19.86±1.49[a]
总蛋白 TP/(g/L)	7	38.89±0.94[b]	48.56±0.94[a]	50.57±0.75[a]
	21	42.91±1.14[b]	43.44±0.52[b]	57.05±2.37[a]
	42	52.68±1.14[b]	41.57±0.25[c]	63.30±1.47[a]
血氨 Serum ammonia/(μmol/L)	7	465.38±18.83	437.20±21.28	450.55±11.82
	21	376.06±4.34[a]	350.64±7.60[ab]	339.04±11.83[b]
	42	289.41±15.64[a]	249.63±12.75[ab]	216.11±16.75[b]

3　讨　论

3.1　丁酸梭菌对肉鸡生长性能的影响

目前，关于丁酸梭菌对动物生长性能的影响已有一定的研究。张彩云等[2]发现，1%的丁酸梭菌能显著提高断奶仔猪的平均日增重，且当添加量提高到 3%时，料重比显著下降。Meng 等[3]在生长育肥猪饲粮中同时添加丁酸梭菌和枯草芽孢杆菌，结果表明，饲料总能和氮的肠道表观消化率显著提高，猪的生长性能有显著改善。华洵璐等[4]也发现，丁酸梭菌和凝结芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌不同组合制剂后，均能显著提高仔猪对饲料蛋白质和纤维素的消化吸收，且 3 种菌同时添加，对粗蛋白质表观消化率的提高幅度最大。Liao 等[5]报道，添加不同剂量的丁酸梭菌均能显著提高 1~21 日龄肉鸡的平均日增重，与抗生素组间无显著差异，且所有试验组的平均日采食量和料重比差异不显著。Zhao 等[6]发现，饲粮中添加丁酸梭菌显著提高肉鸡的平均日增重和平均日采食量，还能使其 42 日龄时肌内脂肪含量显著提

高，肝脏脂肪酸合成酶和胸肌脂蛋白脂酶的活性显著增强，肉鸡的脂肪沉积加速。然而，Zhang 等[7]、Amerah 等[8]报道，饲粮中添加丁酸梭菌类制剂，对动物生长性能的提高无显著影响。可见，益生菌制剂的饲用效果受菌种及发酵水平、饲养管理水平、动物自身的健康状况以及添加剂量等因素的影响。本试验的研究结果与 Zhao 等[6]结果基本一致，说明丁酸梭菌能显著提高肉鸡生长各阶段的平均日增重和平均日采食量，饲喂效果与抗生素相当。

丁酸梭菌对动物的促生长作用与其生物特性密切相关，其属厌氧芽孢杆菌，在不良环境胁迫下能以孢子形式存在，具有更强的耐酸、耐胆盐特性，能够很好地在肠道定植而发挥作用。其主要代谢产物丁酸是结肠黏膜细胞的主要能量来源，对维持动物肠道形态结构的完整性和促进肠道细胞增殖与成熟方面发挥着重要作用。丁酸还能促进胰腺分泌、增强空肠刷状缘酶活性，刺激胰高血糖素样肽－2（GLP-2）的生成和扩大肠道吸收面积，从而提高肠道对营养物质的消化吸收能力[9]。除丁酸外，丁酸梭菌在代谢过程中还能产生淀粉酶、糖苷酶、纤维素酶等多种酶以及维生素 B、维生素 K 等，这些益生物质对改善畜禽的生长性能都有良好的作用。

3.2　丁酸梭菌对肉鸡血清抗氧化指标的影响

正常情况下，动物体内自由基的生成与机体抗氧化防御系统之间处于一种良好的动态平衡中，但当动物患病或遭受应激时，体内自由基的过量生成就会对机体造成氧化损伤。T-SOD和GSH-Px是生物体内重要的抗氧化物酶，在清除超氧自由基、过氧化物以及阻止或减少羟基自由基形成方面发挥着重要作用。T-AOC是衡量机体抗氧化功能的综合指标，MDA含量的高低则反映氧自由基介导的脂质过氧化程度。余东游等[10]报道，枯草芽胞杆菌通过增强肉鸡血清及肝脏T-SOD和GSH-Px活性，使T-AOC显著提高、MDA含量显著下降，从而有效地保护肉鸡免受氧化损伤。Li等[11]在草鱼饲粮中添加0.5%的芽孢杆菌，饲喂4周，结果显示，草鱼肝脏和血清T-AOC和GSH-Px活性显著增强。本试验的结果发现，抗生素和丁酸梭菌均能显著增强肉鸡血清GSH-Px和T-SOD活性，且随日龄的增加，丁酸梭菌的促进作用逐渐比抗生素更明显、更稳定。由此表明，丁酸梭菌同其他益生菌一样，具有提高肉鸡抗氧化的作用，且效果优于抗生素，更有利于机体健康。

丁酸梭菌及其代谢产物丁酸和氢气都具有抗氧化的作用。丁酸梭菌能够产生T-SOD和还原型辅酶Ⅰ/还原型辅酶Ⅱ（NADH/NADPH）过氧化物酶，可以直接清除体内活性氧[12]。Zhang等[13]研究显示，丁酸钠能够显著增强肉鸡胸肌中过氧化氢酶（CAT）活性，显著降低MDA含量，从而缓解皮质酮诱导的肉鸡产生的氧化应激。Ohsawa等[14]首次报道，氢气能选择性地清除机体和细胞中的羟自由基，起到抗氧化的作用。

3.3　丁酸梭菌对肉鸡免疫功能的影响

免疫球蛋白是机体抗感染的重要物质，主要存在于血清中，含有特异和非特异性抗体，具有抗菌、抗病毒、抗外毒素等多种功能。家禽体内含有3种重要的免疫球蛋白（IgA、IgG和IgM）。Yang等[15]研究表明，饲粮中添加丁酸梭菌（2×10^7和3×10^7 CFU/kg）能显著提高14~42日龄岭南黄羽肉鸡血清IgA和IgG含量，血清IgM含量也在21~42日龄时显著升高。Zhang等[16]用大肠杆菌K88对肉鸡进行攻毒的试验表明，丁酸梭菌能够使肉鸡血清IgA和蛋黄免疫球蛋白（IgY）含量在攻毒后的第14天显著升高，IgM含量在第21天时达到显著水平。本试验与以上研究结果类似，与对照组相比，饲喂丁酸梭菌对肉鸡血清免疫球蛋白含量的影响远大于抗生素的效果，添加丁酸梭菌显著改变了血清IgA、IgG和IgM含量，尤其是对IgG的作用效果更为显著。

此外，丁酸梭菌还以其他方式调节机体的免疫反应，例如修复被损伤黏膜、控制炎性肠病的发生就是其中重要的一种。Hayashi等[17]发现，丁酸梭菌通过Toll样受体2/髓样分化因子88（TLR2/MyD88）信号通路直接刺激巨噬细胞大量积聚在肠道发炎部位并诱导巨噬细胞分泌大量的炎症抑制因子白细胞介素－10(IL-10)。高权新[18]进行体外试验也表明，IL-10对丁酸梭菌诱导的免疫调节作用是至关重要的，丁酸梭菌通过显著提高*IL*-10和热休克蛋白70（*HSP*70）的表达量来强化肠道黏膜的免疫耐受能力。但与Hayashi等[17]不同的是，其结果发现丁酸梭菌对*MyD*88的mRNA水平没有显著影响，也就是说丁酸梭菌激活的是由TLR2介导的MyD88非依赖性信号传导通路。

3.4　丁酸梭菌对肉鸡血清生化指标的影响

血清TP和ALB含量的升高是机体蛋白质代谢旺盛的体现，表明氨基酸、蛋白质的吸收利用率提高，肝脏的蛋白质合成代谢以及组织蛋白质的沉淀作用增强，动物的生产性能提高。动物体内的氨主要来自氨基酸的脱氨基作用，消化道细菌脲酶也可利用部分含氮饲料产氨。低含量的血氨对动物有利，它可通过脱氨基的逆反应参与机体代谢，而高含量的氨无论是在体内还是在环境中都被认为是一种毒性物质[19]。Zhang等[20]在肉鸡饲粮中单独添加枯草芽孢杆菌UBT-MO_2，氨气排放量降低了26.5%，硫化氢（H_2S）的排放量也降低了7.9%；枯草芽孢杆菌和丁酸梭菌、嗜酸乳杆菌复合，在减少排泄物氨逸失上同样效果显著[21]。Cao等[22]发现，丁酸梭菌单独添加可显著降低肉鸡血氨含量。本试验的研究结果与上述报道相似，与对照组和抗生素组相比，丁酸梭菌组肉鸡血清TP含量显著提高，血氨含量显著降低，血清ALB含量有提高的趋势。这可能是因为进入肠道的丁酸梭菌在结肠中发酵糖类，产生大量的短链脂肪酸，促使肠道酸度增加，形成化学屏障，抑制腐败菌的发酵产气，减少对肠道有害

胺和氨的产生；同时低酸环境有利于双歧杆菌等有益菌的生长繁殖，增强消化酶活性，大大提高营养物质尤其是蛋白质的吸收利用。

4 结 论

本试验的研究结果表明：饲粮中添加丁酸梭菌可以显著改善肉鸡的生长性能，提高肉鸡血清抗氧化能力和机体免疫功能，促进蛋白质代谢，有助于减少肉鸡氨排放。

参考文献：

[1] 易中华,敖清根.饲用酪酸菌制剂的研发及其在动物生产中的应用[J].湖南饲料,2013(5):22–24.

[2] 张彩云,刘来亭,杜灵广,等.酪酸芽孢杆菌对断奶仔猪生产性能和血清生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2009,45(13):43–45.

[3] MENG Q W,YAN L,AO X,et al.Influence of probiotics in different energy and nutrient density diets on growth performance,nutrient digestibility,meat quality,and blood characteristics in growing-finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2010,88(10):3320–3326.

[4] 华洵璐,钱仁界,张宪中,等.芽孢杆菌复合制剂对断奶仔猪生长、腹泻和饲料消化率的影响[J].安徽农业科学,2015,43(3):166–170.

[5] LIAO X D,MA G,CAI J,et al.Effects of *Clostridium butyricum* on growth performance,antioxidation,and immune function of broilers[J].Poultry Science,2015,94(4):662–667.

[6] ZHAO X,GUO Y M,GUO S S,et al.Effects of *Clostridium butyricum* and *Enterococcus faecium* on growth performance,lipid metabolism,and cecal microbiota of broiler chickens[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2013,97(14):6477–6488.

[7] ZHANG B,YANG X,GUO Y,et al.Effects of dietary lipids and *Clostridium butyricum* on the performance and the digestive tract of broiler chickens[J].Archives of Animal Nutrition,2011,65(4):329–339.

[8] AMERAH A M,QUILES A,MEDEL P,et al.Effect of pelleting temperature and probiotic supplementation on growth performance and immune function of broilers fed maize/soy-based diets[J].Animal Feed Science and Technology,2013,180(1/2/3/4):55–63.

[9] HORNBY P J,MOORE B A.The therapeutic potential of targeting the glucagon-like peptide-2 receptor in gastrointestinal disease[J].Expert Opinion on Therapeutic

Targets,2011,15(5):637–646.

[10] 余东游,毛翔飞,秦艳,等.枯草芽孢杆菌对肉鸡生长性能及其抗氧化和免疫功能的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(3):22–25.

[11] LI W F,ZHANG X P,SONG W H,et al.Effects of *Bacillus* preparations on immunity and antioxidant activities in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J].Fish Physiology and Biochemistry,2012,38(6):1585–1592.

[12] KAWASAKI S,NAKAGAWA T,NISHIYAMA Y,et al.Effect of oxygen on the growth of *Clostridium butyricum* (type species of the genus *Clostridium*),and the distribution of enzymes for oxygen and for active oxygen species in Clostridia[J].Journal of Fermentation and Bioengineering,1998,86(4):368–372.

[13] ZHANG W H,GAO F,ZHU Q F,et al.Dietary sodium butyrate alleviates the oxidative stress induced by corticosterone exposure and improves meat quality in broiler chickens[J].Poultry Science,2011,90(11):2592–2599.

[14] OHSAWA I,ISHIKAWA M ,TAKAHASHI K.Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals[J].Nature Medicine,2007,13(6):688–694.

[15] YANG C M,CAO G T,FERKET P R,et al.Effects of probiotic,*Clostridium butyricum*,on growth performance,immune function,and cecal microflora in broiler chickens[J].Poultry Science,2012,91(9):2121–2129.

[16] ZHANG L,CAO G T,ZENG X F,et al.Effects of *Clostridium butyricum* on growth performance,immune function,and cecal microflora in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* K88[J].Poultry Science,2014,93(1):46–53.

[17] HAYASHI A,SATO T,KAMADA N,et al.A Single strain of *Clostridium butyricum* induces intestinal IL-10-producing macrophages to suppress acute experimental colitis in mice[J].Cell Host & Microbe,2013,13(6):711–722.

[18] 高权新.丁酸梭菌与肠道上皮细胞互作的分子机制的研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2012:73.

[19] 程时军,马立保,张伟.溶菌酶对肉鸡肠粘膜形态、微生物数量及血氨浓度的影响[J].饲料工业,2009,30(20):13–16.

[20] ZHANG Z F,CHO J H,KIM I H.Effects of *Bacillus subtilis* UBT-MO_2 on growth performance,relative immune organ weight,gas concentration in excreta,and intestinal microbial

shedding in broiler chickens[J].Livestock Science,2013,155(2/3):343–347.

[21] HOSSAIN M M,BEGUM M,KIM I H.Effect of *Bacillus subtilis*,*Clostridium butyricum* and Lactobacillus acidophilus endospores on growth performance,nutrient digestibility,meat quality,relative organ weight,microbial shedding and excreta noxious gas emission in broilers[J].Veterinarni Medicina,2015,60(2):77–86.

[22] CAO G T,XIAO Y P,YANG C M,et al.Effects of *Clostridium butyricum* on growth performance,nitrogen metabolism,intestinal morphology and cecal microflora in broiler chickens[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2012,11(15):2665–2671.

Effects of *Clostridium butyricum* on Growth Performance, Antioxidant Capacity, Immune Function and Serum Biochemical Parameters of Broilers

JIA Conghui[1,2] YANG Caimei[1 *] ZENG Xinfu[3] LIU Jinsong[3] ZHANG Juan[2] CHEN Anguo[2]

(1. *College of Animal Science and Technology, Zhejiang A & F University*, *Lin'an* 313000, *China*; 2. *College of Animal Sciences*, *Zhejiang University*, *Hangzhou* 310058, *China*; 3. *Zhejiang Huijia Biological Technology Co.*, *Ltd.*, *Anji* 313307, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of *Clostridium butyricum* on growth performance, antioxidant capacity, immune function and serum biochemical parameters of broilers. A total of 540 one-day-old Ross 308 broilers were randomly assigned to 3 groups with 6 replicates per group and 30 birds per replicate for a 42-day trial. Dietary treatments were: an antibiotic-free basal diet (control group, CON), basal diet supplemented with 10 mg/kg colistin sulfate and 50 mg/kg bacitracin zinc (antibiotic group, ANT), and basal diet supplemented with 3×10^8 CFU/kg *Clostridium butyricum* (*Clostridium butyricum* group, CB). The results showed as follows: 1) the body weight (BW), average daily gain (ADG) and average daily feed intake (ADFI) of broilers in CB and ANT were significantly increased (P<0.05) compared with those in CON. 2) The activity of serum glutathione peroxidase (GSH-Px) and total superoxide dismutase (T-SOD) in broilers at 42 days of age were significantly enhanced (P<0.05) compared with those in CON, and GSH-Px activity was 60.00% higher (P<0.05) than that in ANT. At 7 and 21 days of age, serum T-SOD activity of broilers in ANT were significantly increased (P<0.05) compared with those in CON. 3) Compared with CON, serum immunoglobulin A (IgA) content in broilers of 21-day old in CB and ANT were increased by 28.70% (P<0.05) and 26.46% (P<0.05), and serum immunoglobulin G (IgG) content in broilers at 7, 21 and 42 days of age were increased by 36.60% (P<0.05), 37.77% (P<0.05) and 27.03% (P<0.05), respectively. Serum IgG content of broilers at 7 and 42 days of age in ANT were significantly higher (P<0.05) than those in CON. Serum immunoglobulin M (IgM) content of broilers at 21 and 42 days of age in CB were significantly increased to CON, while 7.92% (P>0.05) and 47.62% (P<0.05) higher than those in ANT. 4) Serum total protein (TP) content of broilers in CB were significantly higher (P<0.05) than those in CON, especially increased by 31.33% (P<0.05) and 52.27% (P<0.05) compared with those of broilers at 21 and 42 day-old in ANT. Meanwhile, serum ammonia content of broilers in CB were

significantly decreased (*P*<0.05) compared with those of broilers at 21 and 42 day-old in CON. These results indicated that supplementation with *Clostridium butyricum* in diet could enhance serum antioxidant capacity and immune function, promote protein metabolism, which could improve the growth performance of broilers, and reduce ammonia emissions from broilers.

Key words: broilers; *Clostridium butyricum*; growth performance; antioxidant capacity; immune function; serum biochemical parameters

---

∗Corresponding author, associate professor, E-mail: yangcaimei2012@163.com （责任编辑　田艳明）